

# Otimização do consumo de cimento por meio da adição da Sílica da casca do arroz (SCA)

GOMES, C.E.M.<sup>1, a</sup> e MARTON, L.F.M.<sup>2, b</sup>

<sup>1</sup>UNICAMP – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – Departamento de Arquitetura e Construção – Av. Albert Einstein, 951 – CEP: 13083-852 – Campinas/SP, Brasil

<sup>2</sup>RHA solutions, Jd. Centenário – CEP: 97.546-115 – Alegrete/RS, Brasil

<sup>a</sup>cemgomes@fec.unicamp.br, <sup>b</sup>fernando.marton@rhasolutions.com.br

**Palavras-chave:** Betão sustentável, sílica da casca do arroz, pozolana.

**Resumo.** Este trabalho analisa o potencial de aplicação da sílica da casca do arroz (SCA), obtida pelo processo de leito fluidizado, como adição em cimentos Portland (Norma NP EN 197-1) do tipo CEM II/B-S e CEM III/A, com intuito de estudar a otimização dos teores destes aglomerantes na produção de betões sustentáveis. Conforme literatura, a sílica oriunda da casca do arroz tem sido estudada há vários anos e demonstrado propriedades aglomerantes satisfatórias. Desta forma, em virtude do problema ambiental ocasionado pelo descarte inadequado da casca do arroz carbonizada ou *in natura* na região sul do Brasil e do alto consumo de cimento Portland pela sociedade, esta possibilidade tem sido uma alternativa de grande impacto na sustentabilidade aplicada à construção civil, além de permitir melhor desempenho e durabilidade aos compósitos cimentícios. Foram definidas para cada tipo de cimento três composições para análise do potencial de substituição destes ligantes pela SCA. Os traços foram analisados por compressão axial aos 28 dias de idade após cura úmida e demonstraram ser uma alternativa concreta à crescente demanda da construção civil brasileira. Análises químicas da SCA e de pozolanicidade complementaram o presente estudo.

## Introdução

A casca do arroz tem se tornado, no Brasil, um grave problema ambiental em virtude da crescente produção agrícola e pela quantidade de gás metano gerada pelo descarte incorreto deste resíduo na natureza [1,2]. Conforme literatura, a cada tonelada de arroz são produzidos cerca de 200 kg de casca *in natura* [3,4]. Estes números se tornam ainda mais críticos ao considerarmos a produção brasileira, especialmente no estado do Rio Grande do Sul, da ordem de oito milhões de toneladas. Para produção da sílica de casca de arroz (SCA) não basta haver somente a queima, mas sim um processo no qual seja possível fazê-la em condições controladas para manter as características de pozolanicidade. No Brasil, um sistema inovador de combustão por meio de leito fluidizado tem sido bastante eficiente na produção desta pozolana. Este tipo de combustão melhora não somente a eficiência da queima, mas também permite a extração da sílica da casca de arroz com qualidade constante, alto grau de amorficidade e, conseqüentemente, aumento da pozolanicidade, possibilitando, assim, sua utilização como adição e/ou substituição parcial do cimento nas dosagens de betões e argamassas. O potencial de aplicação da sílica da casca do arroz (SCA) foi verificado neste trabalho com intuito não somente da otimização dos teores do cimento Portland, mas também com foco na produção de betões sustentáveis. Dessa forma, além do problema ambiental relacionado à casca do arroz carbonizada ou *in natura*, também destaca-se o alto consumo de cimento Portland pela sociedade e os elevados níveis de emissão de gás carbônico na atmosfera durante a produção do clínquer, para cada tonelada produzida são geradas aproximadamente 1 tonelada de CO<sub>2</sub>. A possibilidade de uso de uma pozolana oriunda de fontes renováveis tem demonstrado no Brasil ser uma alternativa de grande impacto na sustentabilidade aplicada à construção civil, além de permitir melhor desempenho e durabilidade aos compósitos cimentícios e redução de custos.

## **Sílica da casca do arroz**

O estudo da cinza de casca de arroz como material pozolânico não é recente e tem sido pesquisado há mais de 40 anos [5]. Esta tecnologia teve maior estímulo a partir do desenvolvimento do concreto de alto desempenho (CAD) e o emprego das sílicas oriundas da fabricação das ligas de ferro silício e do silício metálico. Dessa forma, a produção de uma cinza da casca do arroz (CCA) com elevado índice de pozolanicidade foi objeto de várias pesquisas. Atualmente, o processo de queima da casca do arroz por leito fluidizado tem sido considerado uma inovação tecnológica que definitivamente permite a obtenção de uma sílica amorfa (SCA) compatível com a necessidade da indústria da construção civil.

A adição da SCA junto ao cimento Portland influencia nas propriedades dos betões tanto no estado fresco quanto endurecido. No estado fresco, a SCA permite reduzir a segregação e a exsudação. Já no estado endurecido, pequenos teores entre 3% e 8% permitem aumento de resistência mecânica, diminuição da permeabilidade, especialmente frente aos agentes agressivos (sulfatos, cloretos, CO<sub>2</sub>, etc) [5] e, maior durabilidade, requisito fundamental para adoção dos parâmetros de sustentabilidade.

A ação da sílica de casca de arroz no cimento pode ser dividido basicamente em dois tipos; efeito físico: caracterizado pelo chamado efeito filler onde as partículas de sílica de casca de arroz preenchem a curva granulométrica na faixa inferior à granulometria do cimento, reduzindo, assim, os vazios existentes, aumentando a coesão e a capacidade da argamassa ou fase pasta-agregado, quando em concreto; efeito químico: devido à sua alta pozolanicidade, a sílica de casca de arroz é capaz de reagir com o excesso de hidróxido de cálcio - Ca(OH)<sub>2</sub> - para a formação do silicato de cálcio hidratado, principal responsável pelo aumento da resistência do cimento [6].

Conforme observado na literatura, é possível ainda substituir grande parte do ligante, sendo encontrados relatos de até 70% em massa. Embora possa ter um custo pouco maior que o cimento Portland, para betões é possível obter ganhos financeiros, ou seja, menor relação (custo/resistência à compressão), otimizando os teores de ligantes pela alta pozolanicidade da sílica. Evidentemente, para definição de uma melhor curva custo vs. benefício, as características dos materiais empregados, tais como agregados e tipo de cimento são importantes. Tanto o aumento de resistência mecânica quanto sua menor permeabilidade, são características providas do aumento da produção do silicatos hidratados de cálcio (C-S-H) e consumo da portlandita (CH) pela SCA.

## **Sustentabilidade na produção do cimento e da SCA**

O desabastecimento de energia e necessidade de novas fontes de geração e composição da matriz energética tem influenciado no aumento da queima da casca do arroz, especialmente na região sul do Brasil pelas termelétricas. Dessa forma, o emprego da biomassa é uma oportunidade não somente na oferta de energia, mas também na descentralização do sistema, permitindo seu fornecimento próximo aos grandes centros de consumo. Conforme literatura, existem várias formas de conversão da biomassa em energia, sendo as mais utilizadas a combustão direta, a gaseificação e a pirólise. A questão ambiental associada à necessidade de minimização das emissões de CO<sub>2</sub> torna-se favorável o emprego da biomassa, pois o balanço do CO<sub>2</sub> liberado na queima é compensado na realização da fotossíntese, mantendo, assim, equilibrado este sistema.

O emprego da SCA como adição e/ou substituição ao cimento Portland pode ser considerado uma solução de grande impacto na sustentabilidade, sendo seus benefícios não somente relacionados ao processo de geração de energia alternativa, mas também à diminuição do consumo de cimento Portland e maior durabilidade dos betões e argamassas.

Embora a indústria cimenteira tem buscado alternativas importantes na redução dos níveis de CO<sub>2</sub> emitidos na produção do clínquer, tal como o emprego das adições cimentícias, ações importantes ainda são necessárias. Recentemente, destaca-se na indústria do cimento o coprocessamento de resíduos e, conseqüente, diminuição do consumo dos combustíveis fósseis. No entanto,

independente destas ações, a indústria da construção civil deve buscar melhor desempenho e maior durabilidade dos betões produzidos, além de adotar novos conceitos como a “desmaterialização”. Estas ações e resultados são possíveis de serem obtidos por meio do emprego de pozolanas tal como a sílica da casca do arroz (SCA), promovendo, assim, novas práticas de desenvolvimento sustentável aplicáveis no campo da engenharia civil.

## Materiais

**Sílica da casca do arroz.** A sílica empregada neste estudo foi caracterizada quimicamente apresentando composição conforme abaixo (Tabela 1).

Tabela 1: Análise química da SCA - Fonte: RHA Solutions (2013)

Elemento	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	ZrO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PF
%	93,99	0,20	0,05	0,003	0,51	0,14	1,16	0,02	-	0,36	3,30

A atividade pozolânica da SCA foi verificada pelo método de Chapelle Modificado, sendo obtido como resultado o índice apresentado a seguir (Tabela 2).

Tabela 2 - Atividade Pozolânica da SCA – Método Chapelle - Fonte: RHA Solutions (2013)

Identificação da Amostra	Teor
Nome da amostra	mg Ca(OH) <sub>2</sub> / g de material
Sílica Ativa – Silca Nobre – Sílica da Casca do Arroz	1379,37

A seguir, de forma ilustrativa, apresenta-se uma microscopia da SCA (Fig.1) e propriedades complementares (Tabela 3).

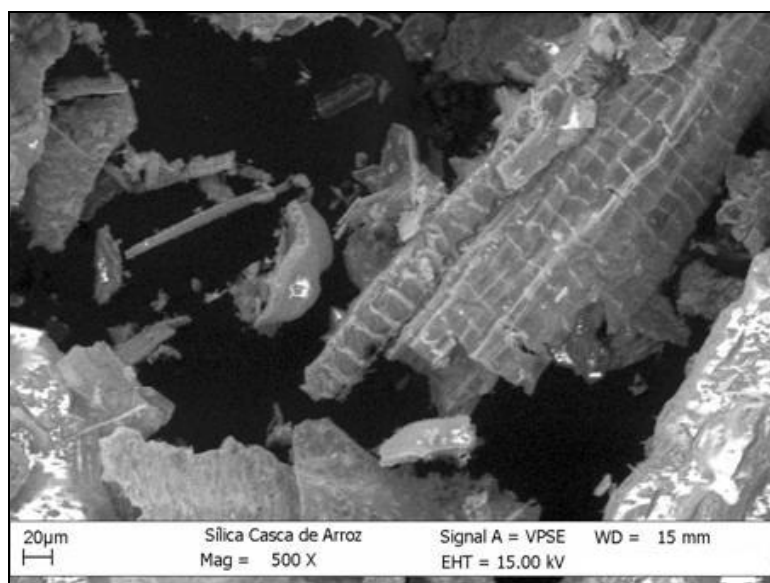


Fig.1 – Microscopia eletrônica de varredura da sílica da casca do arroz – Fonte: RHA Solutions (2013)

Tabela 3 – Propriedades da SCA

Área superficial	Diâmetro médio	Massa específica
21.150 m <sup>2</sup> /kg	14,0 µm*	2,17 g/cm <sup>3</sup>

\* quantidade retida na peneira # 325 mesh (45µm ): 2,1%

**Agregado miúdo natural.** Neste trabalho foi empregado agregado miúdo natural de procedência quartzosa com as propriedades apresentadas a seguir (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4 – Propriedades do agregado miúdo segundo normas brasileiras NBR 7211 e NBR 9776

Dimensão máxima característica	Módulo de Finura	Classificação	Massa específica
1,2 mm	1,36	ZONA UTILIZÁVEL INFERIOR	2,65 g/cm <sup>3</sup>

Tabela 5 – Propriedades do agregado miúdo segundo norma brasileira NBR 7211

Peneira	Material Retido	Individuais	Retido Acumulado
(mm)	(g)	(%)	(%)
9,5	0,0	0	0
6,3	2,4	0	0
4,8	8,9	1	1
2,4	7,2	1	2
1,2	12,0	2	4
0,6	23,0	3	7
0,3	222,6	28	35
0,15	422,7	52	87
Fundo	106,2	13	100
<b>Totais</b>	<b>805,0</b>	<b>100</b>	<b>136</b>

**Agregado miúdo artificial.** Neste trabalho também foi empregado como agregado miúdo areia de procedência calcárea britada com as seguintes características (Tabelas 6 e 7).

Tabela 6 – Propriedades do agregado miúdo segundo normas brasileiras NBR 7211 e NBR 9776

Dimensão máxima característica	Módulo de Finura	Classificação	Massa específica
4,8 mm	2,8	ZONA ÓTIMA	2,66 g/cm <sup>3</sup>

Tabela 7 – Propriedades do agregado miúdo segundo norma brasileira NBR 7211

<b>Peneira</b>	<b>Material Retido</b>	<b>Individuais</b>	<b>Retido Acumulado</b>
(mm)	(g)	(%)	(%)
9,5	0,0	0	0
6,3	12,1	1	1
4,8	18,2	2	3
2,4	102,9	11	14
1,2	211,8	23	37
0,6	220,8	24	61
0,3	147,1	16	77
0,15	106,3	12	89
Fundo	96,2	11	100
<b>Totais</b>	<b>915,4</b>	<b>100</b>	<b>281</b>

**Agregado graúdo.** O agregado graúdo empregado foi de origem basáltica apresentando as seguintes características (Tabelas 8 e 9).

Tabela 8 – Propriedades do agregado miúdo segundo normas brasileiras NBR 7211 e NBR 9776

Dimensão máxima característica	Módulo de Finura	Classificação	Massa específica
25 mm	6,91	BRITA 1	2,76 g/cm <sup>3</sup>

Tabela 9 – Propriedades do agregado miúdo segundo norma brasileira NBR 7211

<b>Peneira</b>	<b>Material Retido</b>	<b>Individuais</b>	<b>Retido Acumulado</b>
(mm)	(g)	(%)	(%)
32,0	0	0	0
25,0	0	0	0
19,0	600	7	7
12,5	5800	68	75
9,5	1300	15	90
6,3	650	8	98
4,8	50	1	99
Fundo	100	1	100
<b>Totais</b>	<b>8500</b>	<b>100</b>	<b>691</b>

**Cimento Portland.** Foram empregados neste trabalho os cimentos do tipo CEM II/B-S e CEM III/A Portland (Norma NP EN 197-1). Para cálculo do consumo dos materiais foram determinadas suas massas específicas, apresentadas abaixo (Tabela 10).

Tabela 10 – Massa específica dos cimentos Portland empregados

Massa específica do cimento CEM II/B-S	Massa específica do cimento CEM III/A
3,02 g/cm <sup>3</sup>	3,01 g/cm <sup>3</sup>

**Aditivo superplastificante.** Foi empregado como redutor de água, aditivo plastificante à base de policarboxilatos.

### Metodologia

Para otimização dos teores de cimento Portland foram definidos três traços de betões, sendo um de referência e outros dois com emprego da sílica da casca do arroz (Tabelas 11 e 12). As composições que empregaram a pozolana obedeceram critérios distintos. Optou-se para a primeira composição com sílica da casca do arroz apenas a adição em massa sobre o total de cimento. Para a segunda composição estudada, foi suprimido 10% do ligante em massa, sendo adicionado apenas 3% da SCA. Também, optou-se nos traços com cimento tipo CEM II/B-S a adoção da relação água/(cimento+sílica) fixa, enquanto que para o cimento tipo CEM III/A foi fixada a relação água/cimento, com finalidade de realizar comparativos na trabalhabilidade, consistência e potencial de otimização dos teores de ligantes. A tabela a seguir apresenta as composições estudadas.

Tabela 11 – Composições de betões estudados com ligante CEM II/B-S

Ref.	CEM II/B-S Classe 40	SCA	Agregado miúdo natural	Agregado miúdo artificial	Agregado graúdo	Relação [a/c+s]	aditivo plastificante [%]
A	1	0	1,747	1,470	3,000	0,53	0,08
B	1	0,103	1,839	1,609	3,276	0,53	0,08
C	1	0,035	2,000	1,630	3,314	0,53	0,08

Tabela 12 – Composições de betões estudados com ligante CEM III/A

Ref.	CEM III/A Classe 40	SCA	Agregado miúdo natural	Agregado miúdo artificial	Agregado graúdo	Relação [a/c]	aditivo plastificante [%]
D	1	0	1,747	1,470	3,000	0,53	0,08
E	1	0,103	1,839	1,609	3,276	0,53	0,08
F	1	0,035	2,000	1,630	3,314	0,53	0,08

Para cada composição foram moldados doze corpos-de-prova cilíndricos, com 10 centímetros de diâmetro e 20 centímetros de altura, conforme procedimentos prescritos pela norma brasileira NBR5738. A determinação do slump obedeceu a norma mercosul NBR NM 67. Os ensaios de compressão axial foram realizados aos 7, 14 e 28 dias de idade conforme NBR5739 – Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Também, determinou-se a massa específica, porosidade e índice de vazios conforme NBR9778 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.

## Resultados

Na tabela a seguir, são apresentados os resultados das propriedades físicas dos betões (Tabela 13).

Tabela 13 – Propriedades físicas dos betões aos 28 dias

Betão	Absorção [%]	Massa específica [g/cm <sup>3</sup> ]	Porosidade [%]
A	4,1	2,4	9,9
B	4,3	2,4	10,3
C	3,3	2,4	7,9
D	4,5	2,7	11,9
E	5,3	2,1	11,4
F	4,1	2,4	9,9

A seguir, são apresentados os resultados de compressão nas idades de 7, 14 e 28 dias (Fig. 2 e 3).

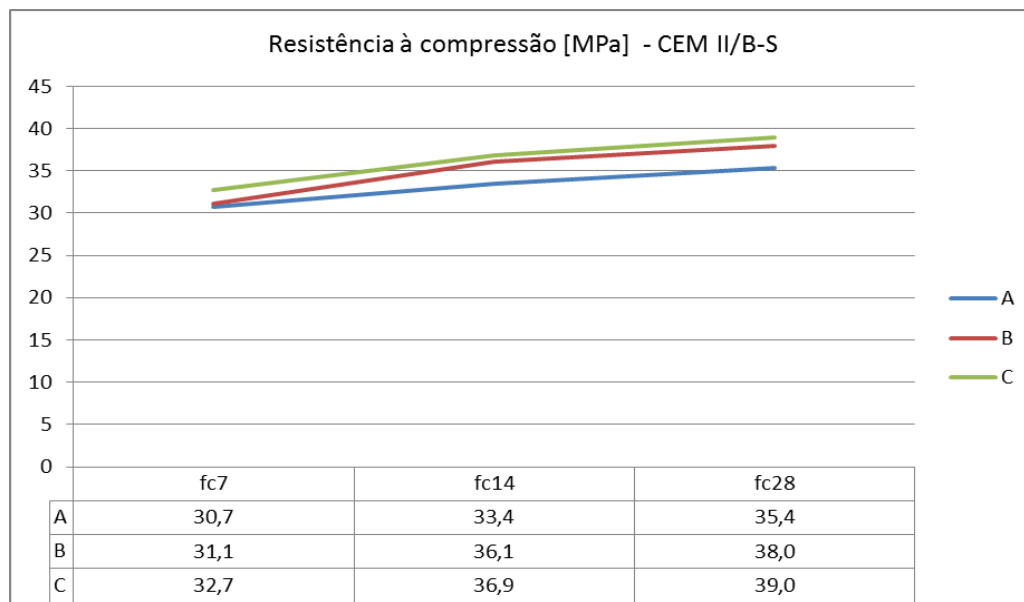


Fig.2 – Resistência à compressão axial dos betões moldado com cimento tipo CEM II/B-S – Classe 40

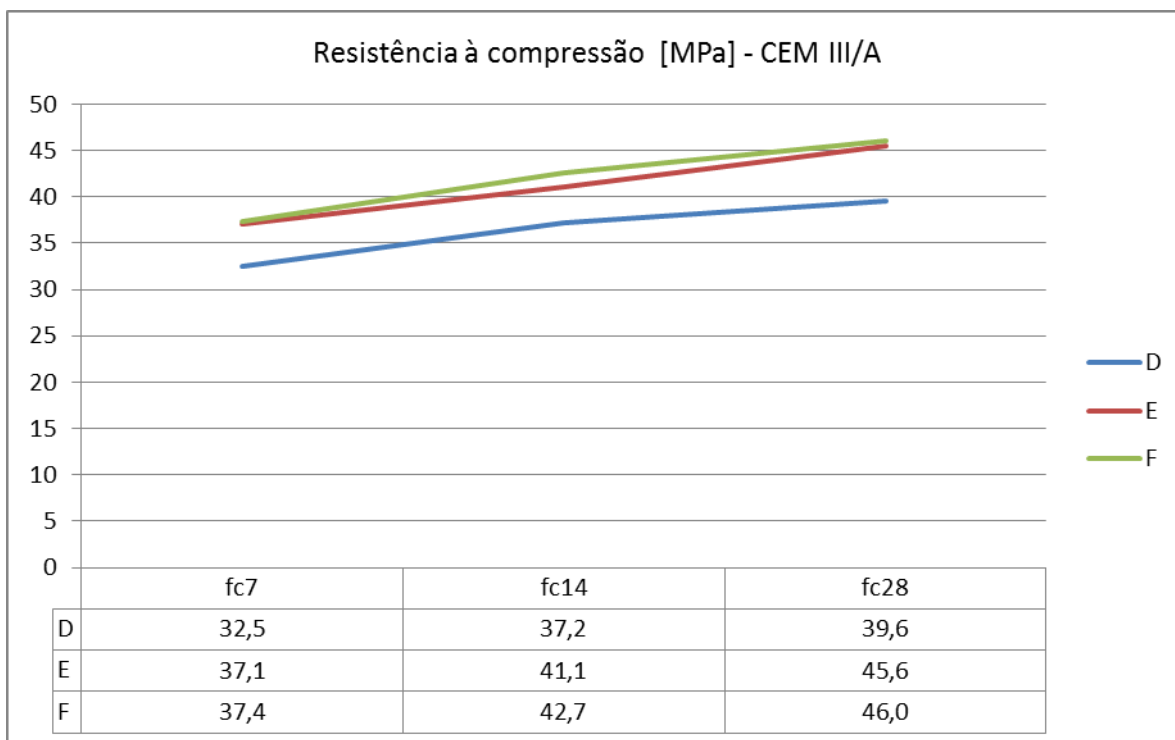


Fig.3 – Resistência à compressão axial dos betões moldado com cimento tipo CEM III/A – Classe 40

A seguir são apresentados os slumps, determinados para cada betão durante as moldagens dos corpos-de-prova, conform procedimentos estabelecidos pela NBR NM 67 (Tabela 14).

Tabela 14 – Slump teste – Abatimento do tronco do cone

Betão	Abatimento (slump) [cm]
A	6,5
B	16,0
C	11,5
D	15,0
E	8,0
F	9,0

### Discussão dos resultados

Como mencionado, o escopo deste trabalho foi verificar a possibilidade de otimização do teor de cimento Portland em betões por meio da adição e/ou substituição parcial do ligante pela sílica da casca do arroz (SCA).

Conforme resultados apresentados, para ambos os cimentos empregados CEM II/B-S e CEM III/A foi possível verificar a eficiência da SCA como pozolana, evidenciada pelo expressivo incremento de resistência mecânica dos betões alternativos. Isto torna-se evidente na comparação entre as composições A (referência) e B (10% de SCA sobre a massa de ligante CEM II/B-S) e as composições D (referência) e E (10% de SCA sobre a massa de ligante CEM III/A), que obtiveram incrementos de resistência à compressão axial de 7% e 15% respectivamente.

No entanto, as composições C e F são aquelas com maior destaque, sendo estas as quais 10% da massa de ligante foi substituída por apenas 3% de SCA com correção do volume de massa



produzido junto ao agregado miúdo natural. A finalidade destas composições era tornar possível a diminuição do consumo de ligante, mantendo-se a resistência característica da compressão axial obtidas pelas referencias e possível redução de custos das formulações, além da adoção de parâmetros de sustentabilidade, seja estes conferidos pela redução da quantidade de cimento Portland ou características intrínsecas ao processo de produção da sílica da casca do arroz.

Na comparação ente as composições A e C ou D e F, nota-se que os resultados foram ainda mais promissores, sendo os ganhos de resitência à compressão axial de 10% e 16% respectivamente. Destaca-se, ainda, a redução do consumo de ligante por metro cúbico de 9,5% para as composições C e F (285 kg/m<sup>3</sup>) comparativamente às composições de referência A e D (315 kg/m<sup>3</sup>). Fica evidente que o emprego da SCA permite maior eficiência da relação custo/resistência, além de colaborar nas práticas de desenvolvimento sustentável aplicadas à construção civil.

A diminuição da porosidade e permeabilidade tamém foram evidenciadas nas composições C e F, conforme apresentadas na tabela 13.

Salienta-se que tanto a adoção da relação água/ligante ou água/(ligante+SCA) fixas demonstraram ser possível a obtenção dos mesmos ganhos, no entanto, deve-se verificar as questões de trabalhabilidade, devendo ser ajustadas conforme aplicação. A constância do abatimento dos betões (slump) para as composições e materiais empregados parece estar compreendida entre estes dois índices, no entanto, não é possível estabelecer tal regra.

## Conclusões

- A sílica da casca do arroz (SCA) obtida pelo processo de queima por leito fluidizado caracteriza-se como excelente alternativa à sílica ativa oriunda da fabricação de ferro-silício ou silício metálico, especialmente no Brasil, grande centro produtor;
- É possível com emprego da SCA reduzir o consumo de ligante e otimizar as formulações de betões de forma a se obter ganhos de resistênia mecânica sem prejuizo da trabalhabilidade;
- O uso de pozolanas oriundas de biomassa constitui alternativa de grande impacto na construção civil, especialmente devido à redução dos teores de CO<sub>2</sub> relacionados ao alto consumo de cimento e as características intrínsecas do processo de produção da sílica da casca do arroz.

## Referências

- [1] E. Maragon, L.F.M. Marton, et al. *Atividade pozolânica da sílica da casca de arroz produzida por combustão em leito fluidizado*, 55º IBRACON, CBC2013, Brasil (2013), 10p.
- [2] D. Collatto, F. Viecili, et al. *Utilização da sílica da casca de arroz na produção de concreto usinado em central*, 53º IBRACON, CBC2011, Brasil (2011), 11p.
- [3] P. K. Mehta *Rice husk ash - A unique supplementary cementing material*. In: *Advances in concrete technology*. CANMET. Ottawa (1992), p. 407-431.
- [4] P.K. Metha and N. Pitt. *A new process of rice utilization*. In: *International conference on the utilization of rice by-products*. Spain, 1974. *Proceedings*.Valencia: IATA, 1977, p. 45-58.
- [5] D.A. Dafico. *Estudo da dosagem do concreto de alto desempenho utilizando pozolanas provenientes da casca de arroz*. UFSC, Florianópolis, Brasil (2001), 191 p.
- [6] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR5738. *Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova*. Brasil (2003), 6p.
- [7] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR5739. *Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Brasil (2007), 9p.

- [8] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR9778. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, Brasil (2005), 4p.
- [9] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR NM 67. Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Brasil (1998), 8p.